دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۴۹
بهار ۱۳۹۴، صفحات ۱۵۱-۱۳۷

ایرج جباری[۱]
حبیب سکوند[۲]

بررسی ارتباط ویژگی‌های لرزه شناسی با پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۰٤/۲٦

چکیده

بررسی ویژگی‌های لرزه شناسی ایران در پهنه‌های گوناگون زمین ریخت شناختی به منظور تشخیص الگوی رفتاری ویژه در این پهنه‌ها هدف اصلی در این تحقیق می‌باشد. برای این منظور ایران براساس پهنه‌های ژئومورفولوژیک تفکیک گردید و در محیط GIS داده‌های ۳۰ ساله‌ی ژرفا، بزرگی و فراوانی زلزله‌ها برای هر یک از پهنه‌های ژئومورفولوژی معرفی گردید. سپس این داده‌ها در صفحه‌ی گسترده برای هر پهنه به طور مجزا ذخیره گردید و در محیط SPSS و Minitab تجزیه و تحلیل و سپس مقایسه گردید. نتایج نشان داد که از میان ۹ پهنه زمین ریخت‌شناسی ایران پهنهٔ زاگرس و خزر دارای بیش‌ترین نامنظمی‌ها هستند. تراکم نسبی زلزله‌ها در زاگرس زیاد است ولی وقوع زلزله‌های بزرگ کم تر از سایر پهنه‌هاست؛ بالاترین مقادیر b به این پهنه اختصاص دارد ولی روند افزایشی آن‌ها نسبت به عمق کاملاً منظم نیست. در خزر تراکم نسبی زلزله‌ها زیاد نیست، ولی زلزله‌های بزرگ حاکمیت بیش‌تری دارند. مقدار b دارای کم‌ترین مقدار بوده و نسبت به ژرفا از بی‌نظم‌ترین تغییرات برخوردار می باشد. هر چند که سایر پهنه‌ها الگوی منظمی در تغییرات مقدار b نسبت به عمق دارا هستند ولی بعضی ویژگی‌های

۱- دانشیارگروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه. E- mail: ir_jabari@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه رازی. E- mail: H.sakvand@yahoo.com

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

آن‌ها می‌تواند بعضی از آن‌ها را در یکی از مناطق زاگرس یا خزر قرار دهد؛ به نحوی که شرق، شمال شرق، و شـمال تشابه بیش تری با پهنه خزر نشان می‌دهند و جلگه‌ی جنوب و شمال‌غرب نیز شباهت‌های زیادی با زاگـرس دارنـد. مکران و ایران مرکزی ویژگی‌های بینابین را نشان می‌دهند.

کلید واژه ها: زلزله، ایران، زمین ریخت‌شناسی، مقدار b.

مقدمه

توزیع زلزله‌ها در مقیاس زمانی و مکانی تابع الگوی خاصی نیست؛ با وجود این آن‌ها دارای دو ویژگی مهم هستند که می‌توانند سرنخی برای قانونمند کردن عملکرد مکانی زلزله‌ها مورد استفاده قرار گیرند: نخست این‌که زلزله‌ها در نواحی خاصی مانند نزدیک گسل‌ها فعال‌تراند و دوم این که فعالیت زلزله‌های قوی از یک دوره‌ی زمانی فعال و یک دوره‌ی خاموش برخوردارند. این دو نکته به محققین کمک می‌کند تا با روش‌های مختلف جابه‌جایی نقاط بیش‌ترین فعالیت را در دوره‌های زمانی مختلف پیش‌بینی کنند (لو[3]و همکاران، ۲۰۱۱؛ لو و همکاران، ۲۰۱۲) ولی در اغلب مواقع گسل‌هایی دوباره فعال می‌شوند که داده‌های تاریخی در باره‌ی آن‌ها و جود ندارد یا ممکن است اصلاً مدفون باشد. از این رو ترسیم نقشه‌های منطقه‌بندی زلزله‌ها هشدارهای اولیه را در باره‌ی مناطقی که در آن گسل‌های خاموش احتمال فعالیت مجدد پیدا می‌کنند را در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهد. امروزه پایگاه‌های اینترنتی وابسته به سازمان‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیک بسیاری از کشورها با ارائه‌ی داده‌های زلزله بر روی نقشه‌ی کشورها در واقع پهنه‌های مختلف زلزله را به نمایش می‌گذارند؛ با این وجود ممکن است تشخیص روابط فضایی بعضی از ویژگی‌های زلزله‌ها (مانند فراوانی، بزرگی و ژرفای زلزله‌ها) در پهنه‌های خاص جغرافیایی برای درک بیش‌تر رفتار زلزله‌ها و یافتن مسیری برای پهنه بندی جدید و دقیق‌تری از خطر آن‌ها اهمیت داشته باشد.

گوتنبرگ و ریشتر[4] (۱۹٤٤) تشخیص دادند که با افزایش فراوانی رخداد زمین‌لرزه‌ها از بزرگی آن‌ها کاسته می‌شود و دراین‌باره یک رابطه‌ی توانی را به شکل زیر ارائه دادند:

$$\log N = a - bm$$ رابطه (۱)

3- Lu
4- Gutenberg & Richter

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که در آن N شمار انباشتی زمین‌لرزه‌های با بزرگی برابر یا بیش از m و a و b ضرایبی ثابت مشهور به پارامترهای لرزه‌خیزی هستند. پارامتر a سطح لرزه‌خیزی یا باروری لرزه‌ای گستره و تعداد زلزله‌های بزرگ‌تر از صفر را نشان می دهد. این مقدار به عواملی مانند شمار رویدادها، اندازه منبع لرزه زا و شمار سال‌های مورد محاسبه بستگی دارد. پارامترb به ویژگی‌های زمین ساختی ناحیه مربوط می‌شود که تغییرات آن می‌تواند نشانگر ناهمگنی ساختاری یا پخش مکانی تنش در منطقه باشد (نانجو و همکاران[۵]، ۲۰۰٤: ۳۸۸). مقدار b در شرایط عادی یک می‌باشد ولی بسته به وضعیت زمین ساخت ناحیه می‌تواند بین ۰/۵ تا ۱/۵ تغییر کند. عوامل دیگری مانند ناهمگونی مواد یا تراکم درز و شکاف مقدار b را افزایش می‌دهند (موگی[٦]، ۱۹٦۲: ۸۵۱؛ شولز[۷]، ۱۹٦۸: ٤۱۲؛ لوکنر و برلی[۸]، ۱۹۹۱: ۲؛ لوکنر و برلی[۹]، ۱۹۹۱: ۲؛ شاو[۱۰]، ۱۹۹۵: ۱۸۲٤۹) و افزایش تنش برشی یا افزایش در تنش مؤثر باعث کاهش آن می‌گردند (وارن و لاتام[۱۱]، ۱۹۷۰: ٤٤٦۲؛ ویز[۱۲]، ۱۹۷۳: ۳۵۷). نوروزی و احمدی (۱۹۸٦: ۹۵) نشان دادند که مقدار a در ایران بین ۱/۸۵ (کپه داغ و البرز) تا ٤/۸۵ (زاگرس) و مقدار b بین ۰/٤۹ (البرز) تا ۱/۰۲ (مکران) تغییر می‌کند، درحالی‌که اشتری جعفری (۲۰۰۸، ٦) مقدار a را بین ۳/۹۱ (آذربایجان) تا ۵/۹۳ (کپه داغ) و مقدار b را بین تا ۰/۵۸ (آذربایجان) تا ۰/۹۱ (البرز) به دست آورد.

پژوهش‌های صورت گرفته از تغییر مقدار b با ژرفا نیز حکایت دارند. نتیجه شماری از این پژوهش‌ها نشان از افزایش مقدار b با ژرفا در گستره‌های آذرین (اقیانوسی) و کاهش آن با ژرفا در گستره‌های قاره‌ای دارند (اُگاتاو کاتسورا[۱۳]، ۱۹۹۳: ۷۳۵؛ ویمر[۱٤]و همکاران، ۱۹۹۸: ٤۱۹، ایموتو[۱۵]و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۲٤). نتایج تحقیقات سینگ و چادا[۱٦] (۲۰۱۰: ۳۳۳) در باره‌ی تغییرات در فراوانی-بزرگی توزیع زمین‌لرزه‌ها با ژرفا (تا ژرفای ۱۲ کیلومتری) در منطقه کوینا –وارنای هند نشان داد که مقدار b با افزایش ژرفا کاهش می‌یابد. همین نتیجه را اشتری جعفری (۱۳۸۸: ۵٦) در مورد تغییرات کوتاه دوره لرزه‌خیزی گستره تهران به دست آورد.

علی‌رغم این که الگوی پراکنش زلزله‌ها تا حدودی مشخص است ولی به دلیل این‌که عوامل زیادی در تغییر ویژگی‌های زلزله در مکان‌های مختلف دخیل‌اند هنوز الگوی خاصی برای روابط فضایی این ویژگی‌ها ارائه نشده

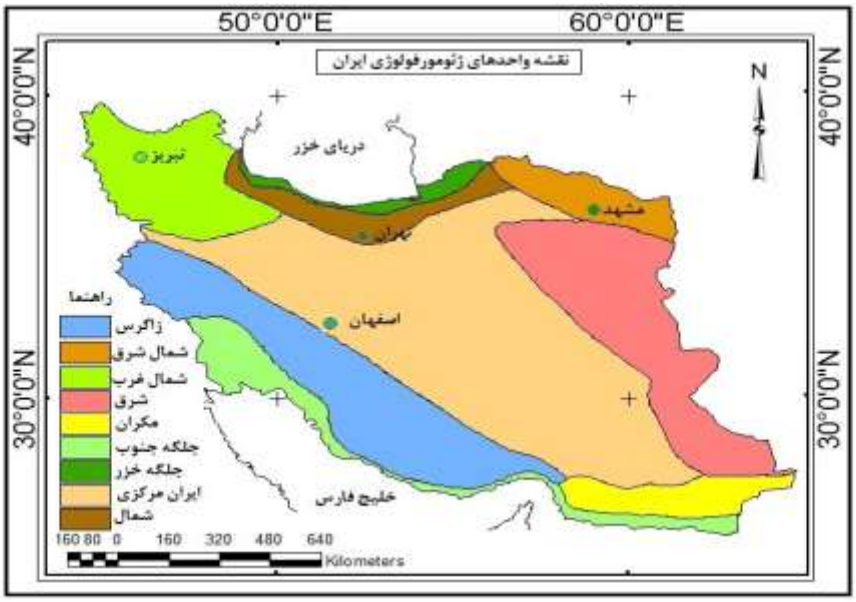
5- Nanjo and Nagahama
6- Mogi
7- Scholz
8- Lockner & Byrlee
9- Lockner & Byrlee
10- Shaw
11- Warren & Latham
12- Wyss
13- Ogata & Katsura
14- Wiemer
15- Imoto
16- Singh & Chadha

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

است. از این رو، هدف این تحقیق ارزیابی کمّی ویژگی‌های لرزه‌شناسی عمق، بزرگی و فراوانی زمین‌لرزه در پهنه‌های زمین ریخت شناختی ایران می‌باشد تا مشخص شود که آیا در هر یک از پهنه‌ها شرایط ویژه‌ای حاکم است یا این که ویژگی‌های متفاوت ریخت زمین ساختی آن‌ها ویژگی‌های لرزه نگاری متفاوتی را به وجود می‌آورد. در هر حال آیا می‌توان با توجه به رابطه‌ی پهنه‌ها با همدیگر دست کم سر نخ‌هایی جهت تشریح این الگوها به دست آورد.

مواد و روش‌ها

برای این منظور، نخست محدوده پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی ایران یعنی پهنه‌های شمال، زاگرس، جلگه جنوب، مکران، شرق، شمال شرق، شمال غرب و ایران مرکزی بر اساس معیارهای زمین ریخت شناختی با توجه به طبقه‌بندی علائی طالقانی (۱۳۸۱: ٦۹) مشخص شد (شکل ۱).



شکل ۱: محدوده زون‌های ژئومورفیک ایران (علائی طالقانی، ۱۳۸۲) و زمین‌لرزه‌های رخ داده در آن‌ها

سپس محدوده این پهنه‌ها به محیط GIS منتقل‌شده و ژئورفرنس و سپس رقومی گردید. داده‌های ۳۰ ساله‌ی (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹) زلزله‌های بالای ٤ ریشتر مربوط به بزرگی، ژرفا و تعداد زمین‌لرزه‌های رخداده در محدوده کشور ایران جمع‌آوری گردیده و به وسیله نرم‌افزار Excel جهت فراخوان به محیط GIS آماده سازی شد. پس از آن فایل‌های ذخیره‌شده در قالب Excel در محیط GIS فراخوان شده و با لایه محدوده پهنه‌ها پیوند داده شد و محدوده‌ی پهنه‌ها بر روی داده‌های زمین‌لرزه کلیپ گردید تا زمین‌لرزه‌های رخ داده در هر یک از محدوده‌ی پهنه‌های زمین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ریخت‌شناسی ایران مشخص شود. در مرحله‌ی بعد از زمین‌لرزه‌های رخ داده در هر یک از این پهنه‌ها به صورت جداگانه در قالب فایل Excel خروجی گرفته شد.

داده‌هایی که در رابطه با فراوانی، بزرگی و ژرفای زلزله‌ها برای هر پهنه استخراج شد در محیط Excel، SPSS و Minitab برای ترسیم نمودارها، آزمون آنالیز واریانس و تیوکی کرامر و محاسبه‌ی مقادیر a و b گوتنبرگ- ریشتر به کار گرفته شدند.

برای محاسبه مقدار b، دو روش کمینه مربع‌های وزن دار و بیشینه تشابه بیش‌تر به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش نیز عمدتاً از روش دوم استفاده‌شده و برای بررسی صحت نتایج چند نمونه نیز با روش اول محاسبه گردید. در روش بیشینه تشابه مقدار b به شکل رابطه ۲ برآورد می‌گردد:

$$b = \log(e) / [M_m - \{(Mc - dm/2)\}] \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن M_m بزرگی میانگین، Mc بزرگی کاملی و dm محدوده (bin) به کار رفته در عملیات است. مقدار b برای بزرگی‌های بیش‌تر از Mc محاسبه می‌شود.

با اطلاعات به‌دست آمده از مقادیر a و b پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی از نظر ویژگی زلزله‌ها مقایسه گردید و از این مقایسه رفتارهای زلزله‌ای مشابه و متفاوت پهنه‌ها از نظر بزرگی، ژرفا و فراوانی استخراج شد.

یافته‌ها و بحث

بررسی تعداد زمین‌لرزه‌های رخداده در پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی ایران (شمال، زاگرس، خلیج‌فارس، مکران، شرق، شمال شرق، شمال غرب و ایران مرکزی) نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۹ در ۹ پهنه‌ی فوق ۳٤۱۹ زمین‌لرزه بزرگ‌تر از ٤ ریشتر رخ داده است که بیش‌ترین آن در زاگرس، مرکزی و شمال‌غرب و کم‌ترین آن در جلگه‌ی خزر و شمال شرق رخ داده است. با وجود این نسبت تراکم نسبی زلزله‌ها در هر پهنه به کل تراکم نسبی زلزله‌های ایران از بیش‌ترین به کم‌ترین به صورت: جلگه جنوب، شمال، زاگرس، جلگه خزر، شمال غرب، ایران مرکزی، شمال شرق، شرق و مکران مرتب می‌شود (جدول ۱).

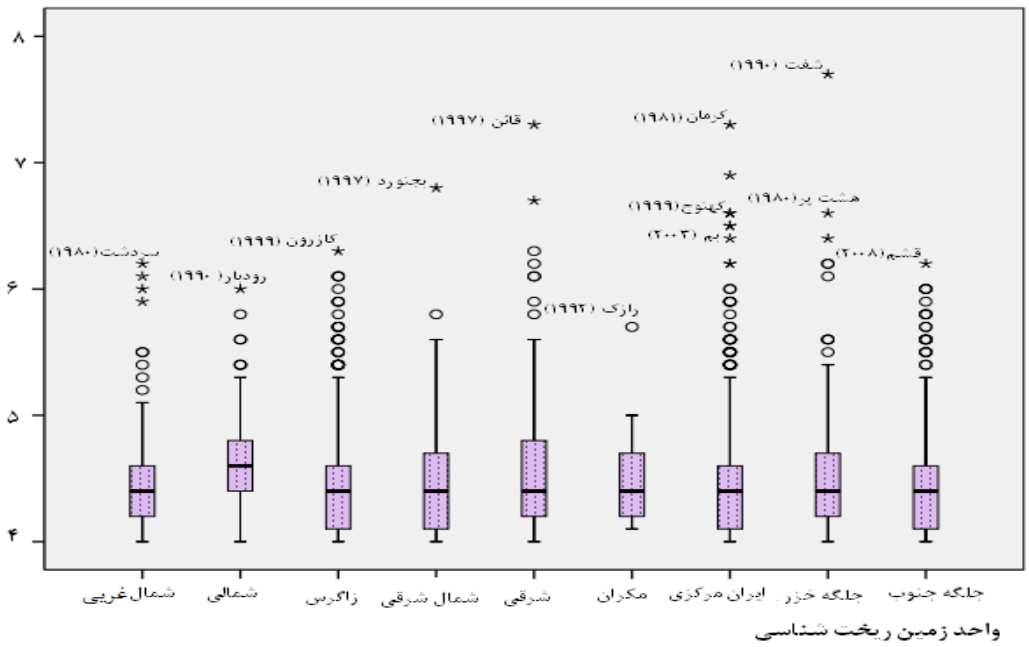
زلزله‌ها از نظر بزرگی نیز در پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی وضعیت خیلی پراکنده‌ای را نشان می‌دهند. آزمون تحلیل واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میانگین بزرگی زلزله‌ها در پهنه‌های زمین ریخت شناختی وجود دارد ($F_{۳٤۱۰,۸}$ = ٤/٥٥١ ،P <۰/۰٥). مقایسه‌ی چندگانه با روش تیوکی کرامر نشان داد که متوسط بزرگی زلزله در زاگرس، جلگه‌ی جنوب و شمال غرب به میزان معنی‌داری از متوسط بزرگی زلزله در ایران مرکزی، مکران، شمال

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شرق، جلگه‌ی خزر، شرقی و شمالی کم‌تر است ((P <۰/۰۵). متوسط بزرگی در پهنه‌ی شمالی و سپس مکران بیش‌تر از سایر پهنه‌ها بوده است، ولی نیرومندترین زلزله‌ها در پهنه‌هایی که بیش‌ترین دامنه یا تغییرات را دارند دیده می‌شود؛ به عنوان مثال ایران مرکزی نسبت به سایر پهنه‌ها متوسط بزرگی زلزله کم‌تری را نشان می‌دهد ولی زلزله ۱۹۸۱ کرمان را به عنوان یکی از بزرگ‌ترین زلزله‌ها به خود اختصاص داده است و از سوی دیگر پرتعدادترین زلزله‌های استثنایی نیز از آن این پهنه می‌باشد (شکل ۲).

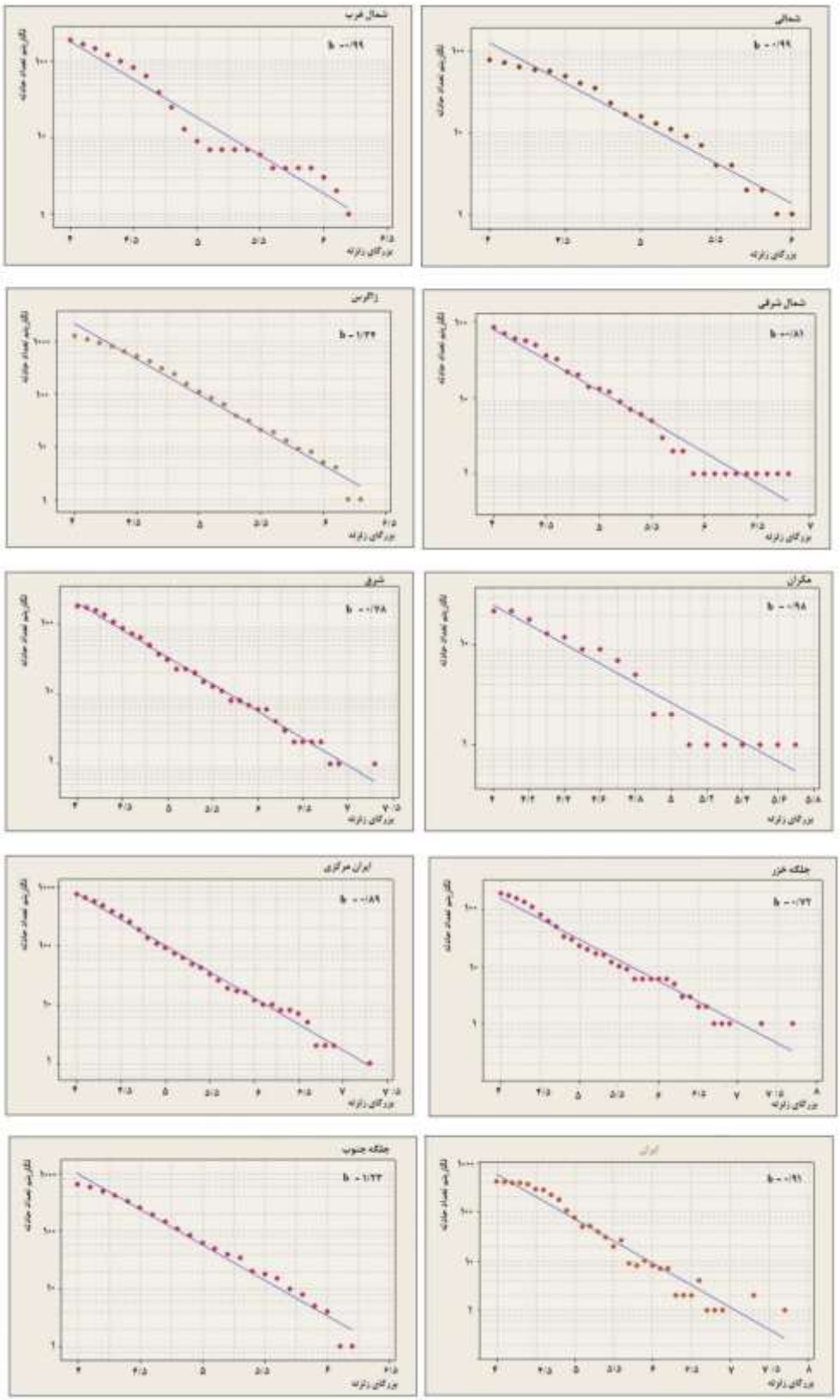
جدول ۱- زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در پهنه‌های زمین ریخت شناختی ایران

ردیف	عنوان	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت	تعداد زمین‌لرزه	تعداد زمین‌لرزه در هر ۱۰۰۰ کیلومترمربع	درصد تعداد زمین‌لرزه در هر ۱۰۰۰ کیلومترمربع
۱	شمال‌غرب	۱٤۰۱٥۸	۸/۹٦	۱۸۳	۱/۳۰	٥/۳٤
۲	شمال	۱۱۲۸۲۹	۷/۲۱	٦۳۰	٥/٦	۲۳/۰٤
۳	زاگرس	۲۷٥۳٦۰	۱۷/٦۱	۱۲۲۱	٤/٤٤	۱۸/۲۷
٤	شمال‌شرق	۱۰۰۰۸٤	٦/٤۰	۷۹	۰/۷۹	۳/۲٥
٥	شرق	۲٤۰۰۷۷	۱٥/۳٦	۱۹۰	۰/۷۹	۳/۲٥
٦	مکران	٦۳۷۱٥	٤/۰۷	۲۰	۰/۳۱	۱/۲۷
۷	ایران مرکزی	٦۰۷٤٦۳	۳۸/۸٦	۷۳۷	۱/۲۱	٤/۹۷
۸	جلگه جنوب	۲٤٤۲	۱/٥٤	۱۸۳	٦/۷	۲۷/٥۷
۹	جلگه خزر	۲٤۱٤۲	۱/٥٤	۷٦	۳/۱٦	۱۳
	کل	۱٦٦۳۳۸۱	۱۰۰	۳۳۱۹	۲٤/۳	۱۰۰



شکل ۲: پراکندگی داده‌های بزرگی زمین‌لرزه در پهنه‌های زمین ریخت شناختی ایران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



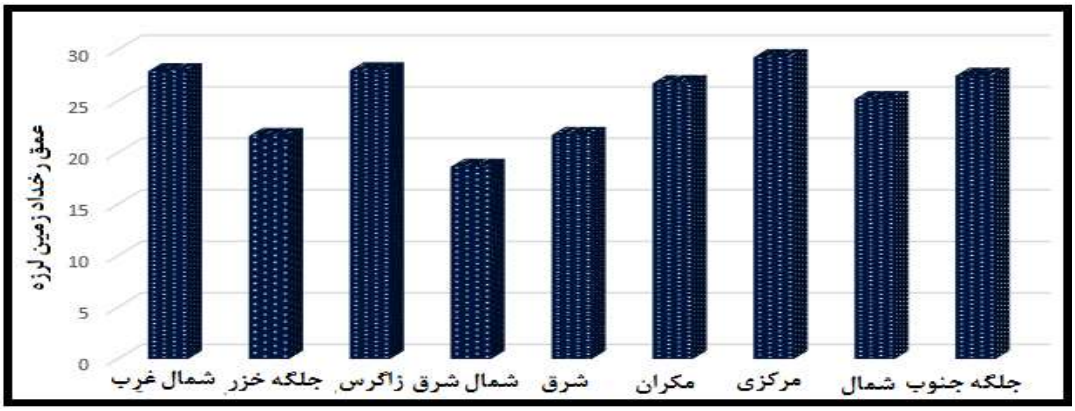
شکل ۳: مقدار b برای پهنه‌های زمین ریخت شناختی ایران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

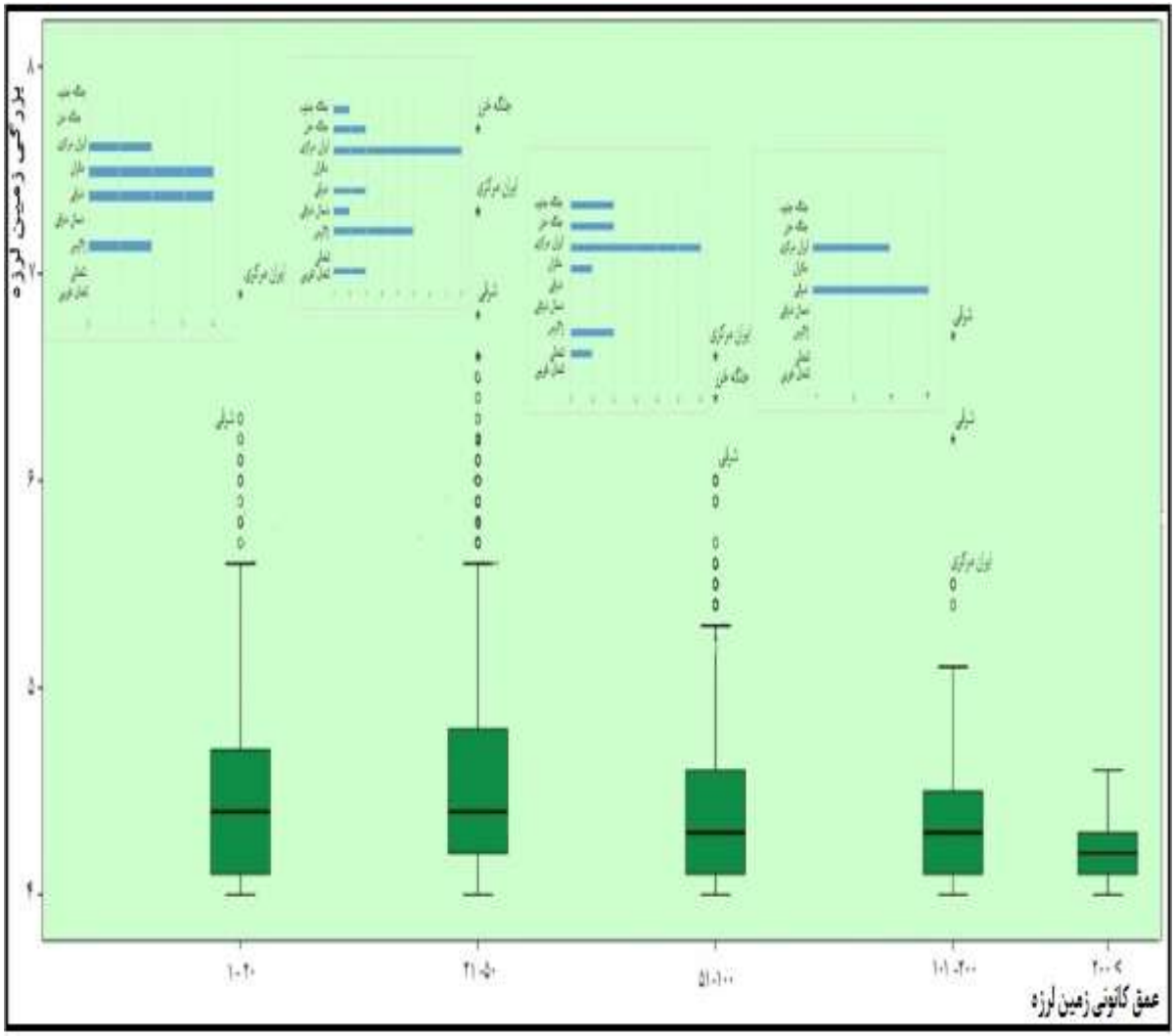
مقدار b معمولاً بین ۰/٤ تا ۱/۸ تغییر می‌کند و میانگین جهانی آن در حدود یک است. از نظر آماری مقدار b بیانگر فراوانی نسبی زلزله‌های بزرگ و کوچک است به طوری که مقدار b بزرگ‌تر نشانگر رخداد بیش تر زلزله‌های کوچک تر و مقدار b کوچک‌تر نشانگر رویداد بیش‌تر زلزله‌های بزرگ‌تر است. مقدار b برای کل ایران برابر با ۰/۹۱- می باشد در واقع یک رابطه‌ی معکوسی بین بزرگی و تعداد حوادث زمین‌لرزه مشاهده می‌شود. اغلب پهنه‌ها از این میزان خیلی دور نیستند (شکل ۳)؛ ولی شاید بتوان آن‌ها را در بر اساس میزان دوری و نزدیکی به متوسط b ایران در سه گروه قرار داد: ۱- خزر (۰/۷۲-)، شرق (۰/۷۸-)، شمال شرق (۰/۸۱-) و ایران مرکزی (۰/۸۹-)؛ گروه ۲- مکران (۰/۹۸-)؛ شمالی (۰/۹۹-) شمال غرب (۰/۹۹-) و گروه ۳- جلگه جنوب (۱/۲۳-) و زاگرس (۱/۳٤-). بنابراین در گروه اول رویداد بیش‌تر در زلزله‌های بزرگ‌تر و در گروه سوم رویداد بیش‌تر در زلزله‌های کوچک رخ می‌دهند.

نتایج مربوط به ژرفای کانون زمین‌لرزه‌ها نیز نشان می‌دهد که به طور متوسط زلزله‌های بالای ٤ ریشتر از ژرفای ٤٥ کیلومتری زمین به پا خاسته‌اند و ۵۰٪ زلزله‌های ۳۰ سال آماری (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹) در کم تر از ۲۲ کیلومتری زمین رخ داده‌اند، کم‌ترین متوسط ژرفای کانونی به پهنه شمال‌شرقی تعلق دارد و بیش‌ترین آن مربوط به پهنه‌ی مرکزی است (شکل ٤). تحلیل واریانس پراکنش متوسط ژرفای زلزله‌ها را در پهنه‌های زمین ریخت شناختی معنی‌دار نشان داد ($P<0/05$، $F_{3,8}=2/162$). آزمون چندگانه به روش تیوکی کرامر آشکار کرد که دو پهنه‌ی مکران و شمال شرقی به میزان معنی‌داری از نظر میانگین ژرفای رخداد زلزله‌های بالای ٤ ریشتر از سایر پهنه‌ها تفاوت دارند ($P<0/05$). بررسی شمار زمین‌لرزه‌ها در گروه‌های عمقی مختلف نیز نشان می‌دهد که تعداد کمی از لرزش‌ها در اعماق بیش‌تر از ۲۰۰ کیلومتری رخ می‌دهند و در اغلب پهنه‌ها بیش تر رویداد زلزله‌ها در ژرفای کم‌تر از ۵۰ کیلومتری متمرکز شده‌اند. بیش‌ترین بزرگی زلزله‌ها نیز نسبت به ژرفا در پهنه‌های مختلف تفاوت دارد و بزرگ‌ترین زلزله‌ها از ژرفای ۲۰ تا ۵۰ کیلومتری زمین به پا خاسته‌اند. با وجود این، شمار زلزله‌های اتفاقی در پهنه‌های مختلف تابع الگوی خاصی نیست. از این نظر پهنه‌های ایران مرکزی و زاگرس ناهمگون‌ترین وضعیت را دارند؛ به طوری‌که در ایران مرکزی بزرگ‌ترین زلزله‌ها در همه‌ی گروه‌های عمقی کم تر از ۲۰۰ و در زاگرس در همه‌ی گروه‌های عمقی کم‌تر از ۱۰۰ کیلومتری زمین رخ داده‌اند؛ به عبارتی در این پهنه‌ها در هر گروه عمقی یادشده دست کم یک زلزله‌ی بزرگ رخ داده است. در بقیه‌ی پهنه‌ها بزرگ‌ترین رخداد زلزله‌ها در یک یا چند گروه عمقی قرار می‌گیرد (شکل ۵). با وجود این بررسی تعداد زلزله‌های بزرگ نسبت به زلزله‌های خود پهنه زمین ریخت‌شناختی موضوع دیگری را روشن می‌سازد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٤: میانگین ژرفای رخداد زمین‌لرزه در پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی ایران



شکل ۵: توزیع بزرگی زلزله‌ها برحسب اعماق مختلف. در این نمودارها دایره‌های کوچک حوادث اتفاقی و ستاره‌ها حوادث خیلی نادر را نشان می‌دهند که نام پهنه مربوط به بعضی از آن‌ها در کنارشان درج شده است. برای نمایش دقیق‌تر، نمودارهایی در بالای هر گروه ژرفا بالا ترسیم شده است که شمار زلزله‌های اتفاقی روی‌داده در هر پهنه‌ی زمین ریخت‌شناسی را آن گروه ژرفا نشان می‌دهند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مقدار b گوتنبرک -ریشتر در گروه‌های عمقی مختلف در هر یک از پهنه‌های زمین‌ریخت شناسی نشان می‌دهد که با افزایش ژرفا یک افزایش در مقدار b رخ می‌دهد؛ به عبارتی، با افزایش ژرفا تعداد زیادی از زلزله‌ها با بزرگی کوچک‌تری رخ می‌دهند. تنها در سه پهنه زمین ریخت‌شناسی (جلگه‌ی خزر، شمالی و شمال‌غرب و زاگرس) این نظم برقرار نیست: در جلگه‌ی خزر بین ۲۰-۵۰، در پهنه شمال و شمال‌غرب بین ۱۰ تا ۲۰ بیش‌ترین تمرکزهای زلزله‌های بزرگ دیده می‌شود؛ در زاگرس نیز از ژرفای ۵۰ کیلومتر به بالا دوباره مقدار b رو به کاهش می‌گذارد (جدول ۲). این ناهماهنگی در جلگه‌ی خزر بیش از سایر پهنه‌ها وجود دارد؛ زیرا در شمال، شمال‌غرب و به ویژه در زاگرس در مقایسه با سایر پهنه‌های زمین ریخت شناختی زلزله‌ها عمدتاً در همه‌ی اعماق در بزرگاهای کوچک‌تری متمرکز می‌شوند و دامنه‌ی تغییرات خیلی زیادی ندارند ولی در پهنه خزر دامنه‌ی تغییرات b در اعماق مختلف خیلی مشهود است و این نشانگر انباشت درجات مختلف تنش‌ها در گسل‌های بزرگ و کوچک هست که حتی بزرگ‌ترین زلزله‌ها را در اعماق زیاد رقم می زند (شکل ۵). نکته‌ی مهم در این رابطه این است که اغلب با کاهش b از مقدار a نیز کاسته شده است و این نشان می‌دهد که از توان لرزه‌خیزی کاسته می‌شود؛ در واقع تمرکز تنش‌ها در این نواحی به کندی صورت می‌گیرد.

تراکم نسبی زلزله‌ها در هر پهنه به کل تراکم نسبی زلزله‌های ایران از بیش‌ترین به کم‌ترین به صورت: جلگه جنوب، شمال، زاگرس، جلگه خزر، شمال‌غرب، ایرن مرکزی، شمال‌شرق، شرق و مکران مرتب می‌شود. ولی پهنه‌های زمین ریخت شناختی از نظر حاکمیت زلزله‌های بزرگ یک ترتیبی را به صورت خزر، شرق، شمال‌شرق، ایران مرکزی، مکران، شمالی، شمال‌غرب، جلگه جنوب و زاگرس تولید می‌کنند. اگر از بین پهنه‌های مورد استفاده‌ی نوروزی و احمدی (۱۹۸٦: ۹۵) و اشتری جعفری (۲۰۰۸: ٦) پهنه‌های منطبق با این تحقیق برداشت شود پنج پهنه انتخاب می‌گردد. با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده‌ی این تحقیقات برای پهنه‌های یادشده اختلاف‌ها ظاهر می‌شود. با علم به این که مرز پهنه‌ها در هر تحقیق ضرورتاً منطبق با تحقیقات دیگر نبوده و در نتیجه میدان داده‌ها متفاوت گرفته می‌شود و همچنین دامنه‌ی زمانی داده‌ها نیز مستقل از تحقیقات دیگر می‌باشد باید انتظار داشت که تفاوت‌های چشمگیری در ترتیب پهنه‌ها دیده شود؛ درحالی‌که با توجه به قرارگیری همه آن‌ها در محدوده‌ی استاندارد b اختلاف‌ها اساسی نیستند و در عوض، دو نکته‌ی مهم در هر سه تحقیق مشاهده می‌شود: نکته‌ی اول نزدیکی قابل‌توجه مقدار b پهنه‌های شرق و شمال‌شرق به یکدیگر بوده و مورد دوم جایگاه زاگرس با مقادیر بالای b در بین پهنه‌های دیگر می‌باشد (جدول ۳). از آنجا که نتایج تحقیق اشتری جعفری (۱۳۸۸: ٥٦) نشان داد که مقدار b در گسل‌های عادی بیش‌تر از گسل‌های امتداد لغز هستند ممکن است علت مقادیر بالای b زاگرس نیز به دلیل وقوع تعداد زیادی از زلزله‌ها در امتداد گسل‌های عادی باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- مقادیر a و b در پهنه‌های زمین ریخت‌شناسی ایران

پهنه زمین ریخت‌شناسی	ژرفا	a	b	R^2	N
ایران مرکزی	۱۰-۲	٤/۲	-۰/٦٥۹۳	٪۹۰/٤	٥٤
	۲۰-۱۰	٥/٦٥٤	-۰/۷۹۲۹	٪۹۸	۲۸۹
	٥۰-۲۰	۷/۰٥۱	-۱/۱۱۲	٪۹۸	۲۹۹
	۱۰۰-٥۰	۷/۷٤۱	-۱/٤۰۸	٪۹۷/۱	۹٥
جلگه خزر	۱۰-۲	۷/۷۳۱	-۱/٥۰۷	٪۹٤	۳۷
	۲۰-۱۰	۳/٦٦۹	-۰/٥۹۸	٪۹٦/۳	٥۱
	٥۰-۲۰	٥/۸	-۰/۹٥۲۸	٪۹٦/۳	۸۳
	۱۰۰-٥۰	۷/۳۸٥	-۱/٥۲	٪۸۸/۱	۱٤
جلگه جنوب	۱۰-۲	٤/۷۷	-۰/۷٥۲	٪۹٦/۲	٦۰
	۲۰-۱۰	٦/۸۱۱	-۱/۰٦۱	٪۹۷/٦	۲٤۳
	٥۰-۲۰	۸/۳۹	-۱/٤٤۱	٪۹۸/۹	۲۸۰
	۱۰۰-٥۰	۸/٦٤۱	-۱/٦۸۳	٪۹۳/۷	٥۱
شمال‌غرب	۱۰-۲	۷/۳۱٥	-۱/٤٤۲	٪۹۱/۲	۲۳
	۲۰-۱۰	٥/۱۷۹	-۰/۸۲٤۷	٪۹٦/۱	٦۸
	٥۰-۲۰	٦/۱۹۷	-۱/۰۸۲	٪۹٥/٦	۷۸
	۱۰۰-٥۰	٦/۸۳٤	-۱/۳٥۱	٪۸٦/۳	۱۹
شمالی	۱۰-۲	٤/۸۸۲	-۰/۹۳۱۷	٪۸٤/۳	۱۱
	۲۰-۱۰	٥/۰۹	-۰/۸۲۹۲	٪۸۹/۱	۳٦
	٥۰-۲۰	٥/۲۲	-۰/۹۳۱۸	٪۸۷/٥	۳۰
زاگرس	۱۰-۲	٦/۱٦۱	-۱/۰٥۰	٪۹۷/۷	۷۰
	۲۰-۱۰	۷/٦۸٥	-۱/۱۷۸	٪۹۷/٥	٥٤۸
	٥۰-۲۰	۸/٦۷۸	-۱/٤٥۲	٪۹٦/۹	٤۸٤
	۱۰۰-٥۰	۷/۷۷۷	-۱/۳۸۷	٪۹٤/۳	۱۲٦
	۲۰۰-۱۰۰	٦/٦۸۷	-۱/٤۱٤	٪۹۹/۲	۱۰
شمال‌شرق	۱۰-۲	۳/٦٥۹	-۰/٦۰۳	٪۹٤	۲۰
	۲۰-۱۰	٤/۲۸۷	-۰/٦۸٤۷	٪۹۰/۳	۳۸
	٥۰-۲۰	٦/٦٦۱	-۱/۳۱٥	٪۹۲	۲۱
شرقی	۱۰-۲	۳/۹۱۱	-۰/٥۸٥	٪۹٤/۳	۳٦
	۲۰-۱۰	٤/٥٥۹	-۰/٦۸٥۳	٪۹۲/۸	۸٤
	٥۰-۲۰	٦/۸٦۹	-۱/۲۳٦	٪۹٦/٥	٦۰
مکران	۱۰۰-٥۰	٤/۲۸۳	-۰/۷۸۹۳	٪۹۳/۱	۱۳
مجموع	۱۰-۲	٦/۳٥۱	-۰/۹٤۲۲	٪۹۸/۳	۳۱٦
	۲۰-۱۰	۷/۰۹۸	-۰/۹٥۷٥	٪۹۹/۳	۱۳٥۹
	٥۰-۲۰	۸/٥۲۹	-۱/۳۰۸	٪٪۹۹/۲	۱۳٤۸
	۱۰۰-٥۰	٦/۳۸۳	-۱/۰۱٦	٪۹۱/۷	۳۱٥
	۲۰۰-۱۰۰	۹/٦٦٥	-۲/۰٥۳	٪۹۲/۱	۲۲

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- نتیجه‌ی سه تحقیق در باره‌ی مقادیر b چند پهنه زمین ریخت‌شناسی

نتایج تحقیقات/ پهنه‌ها	شرق	شمال شرق	ایران مرکزی	مکران	زاگرس
نتایج این تحقیق	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۹۸	۱/۳٤
نوروزی و احمدی (۱۹۸٦)	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/٦۲	۰/۷۱	۰/۹۲
اشتری جعفری (۲۰۰۸)	۰/۷۵	۰/۸۸	۰/۷۹	۱/۰۲	۰/۸۹

از این داده‌ها نتیجه گرفته می‌شود که تفاوت تغییرات مقادیر b با ژرفا نسبت به تحقیقات دیگر به علت این است که نمونه‌های این تحقیق در همه‌ی اعماق و برای زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ٤ ریشتر صورت گرفته است درحالی‌که در تحقیقات دیگر این نمونه‌ها در دامنه‌ی خاصی از ژرفا و برای همه‌ی زلزله‌ها بوده است. در این شرایط نتایج این تحقیق که با افزایش ژرفا از تعداد زلزله‌های بزرگ‌تر کاسته شده و بر تعداد زلزله‌های کوچک‌تر افزوده شده است منطقی به نظر می‌رسد. از آن جا که اطلاعات چندانی در مورد چگونگی پخش و تغییر تنش با ژرفا و الگوهای تشکیل و تغییر درز و شکاف‌های عمقی وجود ندارد تشریح علت تغییر مقدار b کمی دشوار است ولی به نظر جیبوویز (۱۹۷٤: ۲۹۷) شرایط تنش اثر متفاوتی را روی تعداد لرزش‌های عمیق و کم عمق می‌گذارد. برای زلزله‌های کم عمق، مقدار کم b (تنش زیاد در منطقه) با تعداد زیادی از تکان‌ها رابطه دارد درحالی‌که برای زلزله‌های عمیق هیچ رابطه مشخصی بین b و نرخ رویداد وجود ندارد.

در اغلب پهنه‌ها بیش‌ترین رویدادهای زلزله در ژرفای کم‌تر از ۵۰ کیلومتری متمرکز شده‌اند و بزرگ‌ترین زلزله‌ها از ژرفای ۲۰ تا ۵۰ کیلومتری زمین به پا خاسته‌اند. با وجود این، شمار زلزله‌های اتفاقی در پهنه‌های ایران مرکزی و زاگرس ناهمگون‌ترین وضعیت را دارند. چنانچه تغییرات مقادیر b نسبت به ژرفا سنجیده شود برای کل ایران و برای اغلب پهنه‌های زمین ریخت‌شناختی یک نظم خاصی را نشان خواهد داد؛ ولی این نظم برخلاف اغلب نتایج حاصل از تحقیقات قبلی مانند اشتری جعفری (۲۰۰۸: ٦) و سینگ و چادا (۲۰۱۰: ۳۳۳) یک روند مستقیم می‌باشد؛ به عبارتی، با افزایش ژرفا بر مقدار b نیز افزوده می‌شود (جدول ۳). با وجود این در سه پهنه زمین ریخت‌شناسی (جلگه‌ی خزر، شمالی و شمال‌غرب) این روند قطع می‌شود؛ به نحوی که کم‌ترین مقدار b در اعماق خاصی متمرکز می‌شود و در دو مورد (جلگه‌ی خزر و زاگرس) در ژرفای زیاد دوباره مقدار b بیش‌تر می‌گردد. این نشان می‌دهد که بر خلاف اغلب زلزله‌های ایران که از اعماق کم‌تر از ۱۰ کیلومتری زمین بلند می‌شوند در سه پهنه گفته‌شده بزرگ‌ترین زلزله‌ها در اعماق بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتری زمین قرار می‌گیرند؛ یعنی همان نتیجه‌ای که طالبیان و همکاران (۲۰۰٤: ۵۰۸) برای زاگرس و قیطانچی و همکاران، ۱۳۸٤ :۱٦۰) برای شمال ایران گرفتند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتیجه‌گیری

دو پهنه زمین ریخت‌شناسی خزر و زاگرس علی‌رغم تشابه از نظر نبود نظم در تغییرات مقادیر b از بسیاری از ویژگی‌ها در نقطه مقابل هم قرار می‌گیرند. زلزله‌ها در خزر زیاد نیست ولی شمار زلزله‌های بزرگ بیش از سایر پهنه‌هاست؛ مقدار b کم‌ترین مقدار را داشته و نسبت به ژرفا بی‌نظم‌ترین تغییرات را تحمل می‌کند. شاید بتوان این موضوع را مربوط به ساختمان خاص زمین‌شناسی آن دانست؛ محققین معتقد هستند که پوسته خزر جنوبی فاقد لایه گرانیتی (پوسته قاره‌ای) بوده و از مواد سنگین وزنی با چگالی ۳ تا ۳/۳۳ ساخته شده است (علایی طالقانی، ۱۳۸۱: ۳۲۷).

در زاگرس تراکم نسبی زلزله‌ها زیاد است، ولی زلزله‌های بزرگ و استثنائی از شمار کم‌تری برخوردارند، ارقام بالای b در همه‌ی اعماق از آن این پهنه می‌باشد ولی نسبت به پهنه‌های دیگر تغییرات آن با ژرفا خیلی منظم نیست. این ویژگی‌های متفاوت‌تر این دو پهنه می‌تواند به عنوان سرچشمه‌ای برای پهنه‌بندی دقیق لرزه‌ای به کار گرفته شود. بررسی بیش‌تر روی نتایج تحقیق، ویژگی‌های پهنه‌های شرق، شمال‌شرق و شمال را به ویژگی‌های خزر نزدیک‌تر نشان می‌دهد. جلگه‌ی جنوب و شمال‌غرب نیز تشابهات زیادی با زاگرس نشان می‌دهند. مکران و ایران مرکزی ویژگی‌های بینابین را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد بررسی‌های بیش‌تر با آزمون‌های مکرری که با تغییرات در مرز این پهنه‌ها و تجزیه و تحلیل مجدد ویژگی‌های بزرگی، فراوانی، عمق و پارامترهای a و b صورت می‌گیرد بتواند به مرزبندی جدید و یک الگوی فضایی مناسب‌تری منجر شود که میزان خطرپذیری نواحی را روشن‌تر بیان نماید و به یقین بررسی‌های زمین ریخت‌شناسی زمین ساخت با توجه به اطلاعاتی که در زمینهٔ عملکرد فرآیندهای بیرونی در رابطه با پدیده‌های زمین ساختی ارائه می‌دهد می‌تواند نقش مهمی در انتخاب این مرزها ایفا کند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

-اشتری جعفری، م (۱۳۸۸)، «بررسی تغییرات کوتاه مدت لرزه خیزی گسترهٔ تهران با استفاده از پارامترهای a و b»، ***مجلهٔ فیزیک زمین و فضا***، شماره ۳۵ (۱)، صص ۷۵- ٤٥.

- قیطانچی، م؛ میرزایی، ن؛ سدیدخوی، ا (۱۳۸۱)، «فعالیت لرزه خیزی شمال در شمال ایران بر اساس داده‌های شبکه لرزه نگاری محلی»، ***فصلنامه علوم زمین***، شماره ۵۷، صص ۱٦۹-۱۵۸.

- علایی طالقانی، م (۱۳۸۱)، ***ژئومورفولوژی ایران***، تهران، انتشارت قومس.

-Ashtari Jafari, M., (2008)**, "The Distribution of b-value in different seismic provinces of Iran"**, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China.

-Gibowicz, S.J., (1974), "Frequency-magnitude, depth, and time relations for earthquakes in an Island Arc: North Island, New Zeland", ***Tectonophysics***, 23 : 283-297.

-Gutenberg, R., Richter, C. F., (1944), "**Frequency of earthquakes in California"**, BSSA, 34:185-188.

-Imoto, M., Hurukawa, N., Ogata, Y., (1990), "Three-dimensional spatial variations of b-value in the Kanto area, Japan", ***Zishin***, 43: 321-326.

-Lockner, D. A., Byrlee, J. D., (1991), "Precursory AE patterns leading to rock fracture, In: (Hardy, H. R., ed.), "Proceedings, 5th Conference on Acoustic Emisson/Microseismic Activity in Geologic Structures and Materials", pp.1-14. Trans-Tech. PubUcations, Clausthal-Zellerfeld, Germany.

-Lu, Y. , Yang, Sh., Chen L. , Lei , J., (2011), "Mechanism of the spatial distribution and migration of the strong earthquakes in China inferred from numerical simulation**"** , ***Journal of Asian Earth Sciences***, 40 : 990–1001.

-Lu, Y. , Yang, Sh., Chen, L., Lei , J., He, P., (2012), "Migration trend of strong earthquakes in North China from numerical simulations", ***Journal of Asian Earth Sciences,*** 50 : 116–127.

-Mogi, K., (1962), "Magnitude–frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes", ***Bulletin of Earthquake Research Institute,*** 40: 831–853.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

-Nanjo, K., Nagahama, H., (2004), "Fractal properties of spatial distributions of aftershocks and active faults", ***Chaos Soluiton Fract***, 19: 387-397.

-Nowroozi, A. A., Ahmadi, G., (1986), "Analysis of earthquake risk in Iran based on seismotectonic provinces**"**, ***Tectonophysics***, 122: 89-114.

-Ogata, Y., Katsura, K., (1993), "Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogues", ***Geophys. J. Int***. 113**:**727-738.

-Scholz, C. H., (1968), "The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes", ***Bull. Seism. Soc. Am***, 58: 399-415.

-Singh, Ch., Chadha, R.K., (2010), **"**Variations in the frequency–magnitude distribution of earthquakes with depth in the Koyna–Warna region, India**"**, ***Journal of Asian Earth Sciences***, 39(4): 331-334.

-Talbian, M., James, J., (2004), "A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran"***, Geophys.J.Int***, 156:506-526.

-Warren, N. W., Latham, G. V., (1970), "An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity", ***J.Geophys.Res***, 75:4455-4464.

-Wiemer, S., McNutt, S. R., Wyss, M., (1998), "Temporal and three dimensional spatial analysis of the frequency magnitude distribution near long valley caldera, California", ***Geophys.J.Int***., 134: 409-421.

-Wyss, M., (1973), "Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution", ***Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society***, 31: 341– 359.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]